

## **ESTABILIDADE DE TALUDES EM TERRAÇOS AGRÍCOLAS NA REGIÃO DEMARCADA DO DOURO – MODELAÇÃO DE BASE ESTATÍSTICA.**

### **RISERS STABILITY IN AGRICULTURAL TERRACES AT DOURO VALLEY – STATISTICAL BASED MODEL**

Oliveira, Ana, *FLUP, Porto, Portugal, anasfoliveira.90@outlook.pt*

Bateira, Carlos, *FLUP, Porto, Portugal, carlosbateira@gmail.com*

Soares, Laura, *FLUP, Porto, Portugal, Impsoares@gmail.com*

Ana, Faria, *FLUP, Porto, Portugal, ana\_faria\_91@hotmail.com*

Fernandes, Joana, *FLUP, Porto, Portugal, joanafcfernandes@gmail.com*

Hermenegildo, Carlos, *FLUP, Portugal, carlos.hermenegildo@gmail.com*

Teixeira, Manuel, *FLUP, Porto, Portugal, manparedes@gmail.com*

Gonçalves; José Alberto, *FCUP, Porto, Portugal, jagoncal@fc.up.pt*

### **RESUMO**

Para a avaliação da instabilidade de vertentes em terraços agrícolas na Região Demarcada do Douro (Quinta das Carvalhas) foram aplicados dois métodos de base estatística – Regressão Logística e Valor Informativo que se fundamentam na correlação estatística entre as ocorrências (variável dependente) e os fatores condicionantes (variáveis independentes). Como fatores condicionantes foram considerados o declive, a curvatura e a exposição, as áreas contributivas, a humidade relativa, o declive do talude em terra e a ocupação do solo. As variáveis armação do terreno e uso do solo foram obtidas através da vetorização com base no ortofotomapa com uma resolução de 50 cm. Foi efetuado o levantamento das ocorrências que resultou num registo de 329 situações de instabilidade.

Foram feitos dois cenários com a utilização de modelos digitais de elevação (com resolução de 5 m) construídos com informação de origem diferente: um a partir da altimetria (à escala de 1:25000) com equidistância das curvas de nível de 10 m, pontos cotados e rede hidrográfica (MDT A), e outro a partir de fotografias aéreas com resolução de 50 cm (MDT B). 50% do inventário foi utilizado na modelação e a outra metade foi utilizada na validação com recurso às tabelas de contingência. Daqui verificamos que o Valor Informativo com o MDT A apresenta a melhor validação com um valor de 5.22 na relação *True Positive Rate (TPR)/False Positive Rate (FPR)*.

### **ABSTRACT**

The evaluation of the slope instability in agricultural terraces in the Douro Region (Quinta das Carvalhas) was done by two statistical based methods - Logistic Regression and Information Value Method based on the statistical correlation between the occurrences (dependent variable) and the conditioning factors (independent variables). As conditioning factors were considered the slope, curvature and aspect, contributing areas, the relative humidity, the slope of the agricultural terrace riser and land use. The variables related with the agricultural terraces structures and land use were obtained by vectorization based on orthophotomap with a resolution of 50 cm.

The field camping carried out 329 instability record points.

Two scenarios were considered through two elevation models (with a resolution of 5 meters) constructed with different base information: one from contours (scale 1: 25,000) with contour interval of 10 m, spot heights and 3D hydrographic network, and another from aerial photographs with a resolution of 50 cm. 50% of the inventory was used in the modelling and the other half was used to validate with the use of contingency tables. The DTM A Information Value method has the best validation with a value of 5:22 in relation *True Positive Rate (TPR)/False Positive Rate (FPR)*.

**Palavras-chave:** Suscetibilidade, Movimentos de vertente, RDD, Valor Informativo, Regressão Logística.

**Keywords:** Susceptibility, Landslides, Douro valley, Informative Value, Logistic Regression.

## 1. Introdução

A ocorrência de movimentos de vertente no Vale do Douro muitas vezes resulta na destruição de muros/taludes assim como na perda de vinha que têm de ser reconstruídos levando assim a gastos elevados para os proprietários.

Com isto assume-se a importância da existência da cartografia da suscetibilidade a deslizamentos que afetam os taludes e muros de patamares agrícolas de forma a localizar as áreas mais propícias à sua ocorrência. Esta análise pode ser feita através de métodos de cartografia direta (método geomorfológico e heurístico) ou indireta (análise de inventário, modelos estatísticos e modelos geotécnicos) (Guzzetti *et al.*, 1999). O conceito de suscetibilidade define-se como a probabilidade de ocorrência de um deslizamento numa determinada área dependendo das condições locais do terreno, sem considerar as questões temporais inerentes a ocorrências passadas nem a magnitude dessas ocorrências (Brabb, 1984 citado por Guzzetti, 2005).

Para este trabalho será feita a comparação entre dois métodos de cartografia indireta, nomeadamente através de modelos estatísticos – o valor informativo e a regressão logística.

A área de estudo escolhida para a aplicação destes dois métodos é a Quinta das Carvalhas localizada na freguesia de Ervedosa do Douro, concelho de S. João da Pesqueira (distrito de Viseu). A Quinta das Carvalhas tem uma área total de cerca de 306 hectares e cerca de 37% da área é ocupada por vinha, com uma predominância da vinha em patamares (43%), seguindo-se da vinha tradicional (30%) e vinha ao alto (27%) (Oliveira, 2014) (Figura 1).

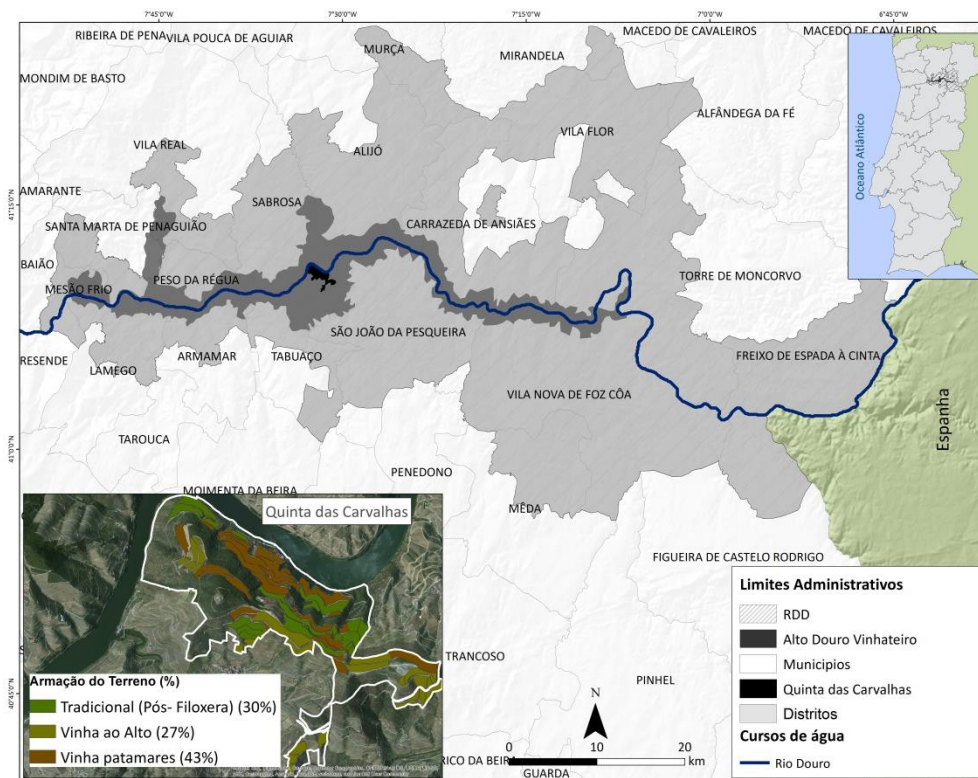


Figura 1 – Enquadramento e caracterização do tipo de armação da vinha da área de estudo.

Dada a localização na margem sul do rio douro, este local apresenta uma exposição predominante entre Nordeste e Este e declives elevados principalmente entre os 25° e 40° (Oliveira, 2014). Os solos desta região são sobretudo antrossolos de mistura (dísticos ou êutricos) cuja profundidade que varia entre 1,0 e 1,5 metros (Aguiar, 2002). O mesmo autor refere ainda que estes materiais podem ser de textura franca com bastante limo e areia fina na sua composição, apresentando horizontes pouco evoluídos e pobres em matéria orgânica.

## 2. Materiais e métodos

Para a análise do efeito da resolução dos MDT's (Modelo Digital de Terreno) que servem de base à cartografia dos fatores condicionantes na avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente são utilizados dois modelos.

O MDT A foi produzido através de cartografia à escala 1: 25 000 com recurso à ferramenta *Topo to Raster*, utilizando as curvas de nível, os pontos cotados e a hidrografia. De acordo com Nery (2011) esta ferramenta corresponde ao método de interpolação mais utilizado na elaboração do MDT para análises hidrográficas uma vez que integra as linhas de água, reforçando a eliminação de possíveis depressões (*sinks*). O MDT B foi construído a partir de um conjunto de fotografias aéreas com resolução espacial de 50 cm e através de estéreo-correlação automática. O voo foi feito a cerca de 5450 m de altitude, com uma sobreposição longitudinal de 60% e lateral de 30% e processadas no programa Agisoft Photoscan ® para a obtenção do modelo e do respetivo ortofotomapa. O MDS resultante foi ajustado nas áreas de transição entre a floresta e os terraços agrícolas no sentido de anular o efeito sobre o cálculo dos fatores condicionantes que dele derivam. Obtivemos desta forma o MDT B utilizado na modelação da suscetibilidade a movimentos de vertente.

O inventário levado a cabo na Quinta do Carvalhas foi elaborado através da identificação direta de cicatrizes de movimentos e muros caídos ou reconstruídos. Para além disso, foram também identificados pontos que indicavam possível instabilidade, nomeadamente muros deformados e fendas a montante dos taludes sendo possível registar um total de 329 situações de instabilidade. Este foi dividido em dois grupos utilizados para a modelação da suscetibilidade: - grupo de treino (50%) e o outro foi utilizado para validar os resultados - grupo de teste (50%).

O método do Valor Informativo (VI) é uma técnica que implica que as unidades de terreno sejam previamente definidas e que sejam considerados um conjunto de fatores de instabilidade (variáveis independentes) estabelecendo uma análise estatística bi-variada com o inventário (variável dependente) (Yin e Yan, 1988 citado por Zêzere, 1997).

Por outro lado, a Regressão Logística (RegLog) é um método multivariado em que a relação é feita entre a variável dependente (inventário) com o conjunto de variáveis independentes (fatores condicionantes), analisando a sua influência sobre instabilidade de vertentes (Zêzere, 1997). A regressão logística resulta então numa probabilidade de ocorrência definida numa escala que pode variar entre 0 e 1 (Landau e Everitt, 2004 citado por Costa, 2009).

## 3. Resultados e Discussão

Para a modelação, foram elaborados os mapas de cada uma das variáveis independentes com os dois modelos digitais de elevação descritos anteriormente, ambos com 25m<sup>2</sup> de área por *pixel* (5x5 m). De ambos os MDT's foram derivados

automaticamente os mapas de declive, exposição, curvatura, área de contribuição e o mapa da inclinação do talude. O mapa de uso do solo foi feito através da vectorização sobre o ortofotomapa da área de estudo com 50 centímetros de resolução (através de técnicas de fotointerpretação) e posteriormente convertidas para *raster*. Relativamente à variável inclinação do talude, esta resultou da razão entre a inclinação original da vertente, a largura e altura dos patamares, medidos no terreno. A variável humidade relativa utilizada foi retirada do modelo de avaliação de suscetibilidade SINMAP que utiliza a fórmula de e assume o cálculo da profundidade relativa da água no solo. Desta forma foi possível construir quatro cenários VI\_A, VI\_B, RegLog\_A e RegLog\_B (Figura 2).

Embora com valores semelhantes, os dois MDTs originam áreas diferentes classificadas como instáveis consoante as metodologias de avaliação.

O MDT A permite uma área instável menor no VI (13,6 %) do que o MDT B (16,5 %). Por outro lado, na RegLog o MDT A classifica mais área como instável (18,7 %) do que o MDT B (17,7 %), sendo que essas diferenças são mais significativas no VI que na RegLog (Figura 2).

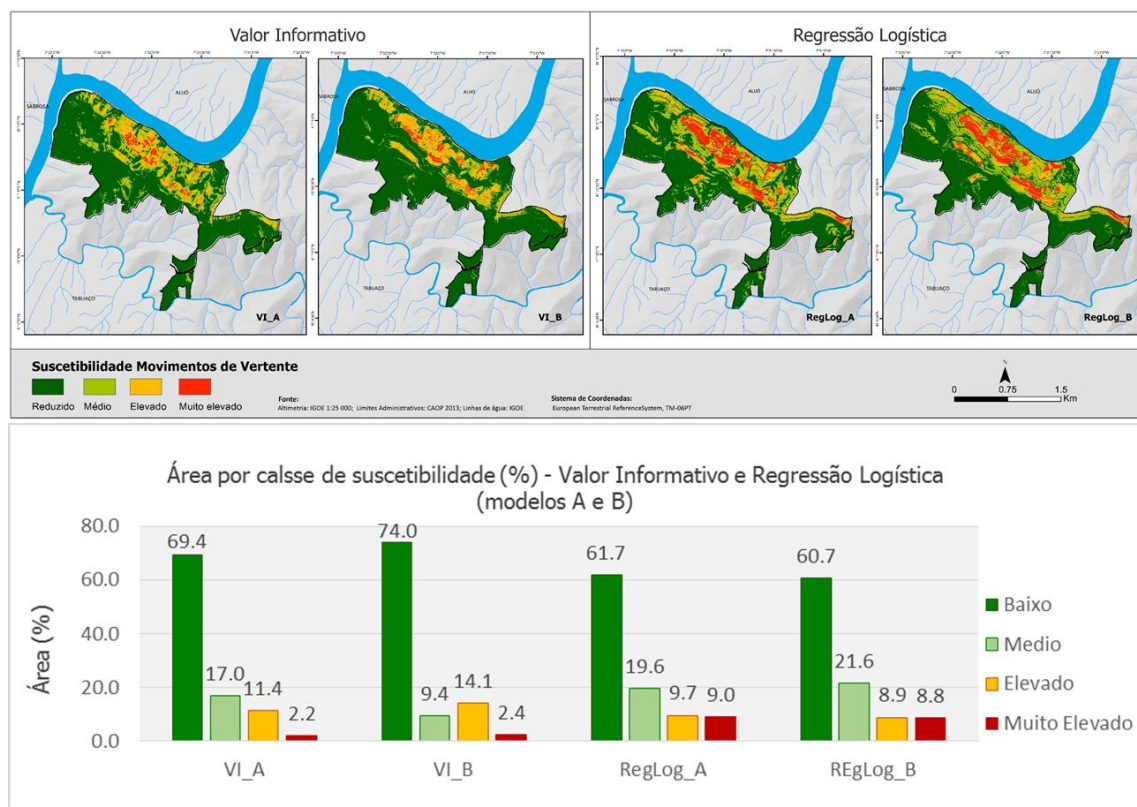


Figura 2 – Cartografia e áreas das classes de suscetibilidade em percentagem – VI (Valor Informativo); RegLog (Regressão Logística); A – MDE com base na cartografia 1:25 000; B – MDE com base nas fotografias aéreas.

No método do valor informativo, a importância que cada variável exerce no modelo é dada pelo *score* da favorabilidade que se traduz na razão entre a área que regista movimentos de vertente e a área de estudo (Aleotti e Chowdhury, 1999). As classes com valores positivos indicam influência positiva na ocorrência de deslizamentos e os valores negativos refletem o oposto (Quadro 1).

Quadro 1 – Valores de favorabilidade por classe de cada variável relativamente à sua influência relativa na distribuição de deslizamentos de vertente

Variável	Classes	VI_A	VI_B	Variável	Classes	VI_A	VI_B	Variável	Classes	VI_A	VI_B
Declives	<15	-1.700	0.000	Inclinação do Talude	<28	-1.007	-1.007	Curvatura	Côncavo	0.488	0.151
	15 - 20	-1.604	0.304		28 - 38	-1.500	-1.100		Retilíneo	-0.200	-0.239
	20 - 25	-0.858	0.410		38 - 48	-0.174	0.519		Convexo	-0.341	-0.135
	25 - 30	-0.104	0.826		48 - 58	1.431	1.388	Áreas Contributivas	<25	-1.985	-1.700
	30 - 35	0.159	1.793		58 - 68	2.397	2.283		25-50	-1.699	-1.459
	40	1.040	2.500		> 68	2.896	2.608		50-100	-3.249	-0.486
	>40	1.146	1.059						100-200	-0.297	-0.544
Exposição	N	0.476	0.563	Uso do solo	Caminhos	0.097	0.185		200-500	1.744	0.326
	NE	0.506	0.450		Construções	-3.000	-3.600		500-1000	2.335	1.078
	E	1.314	1.386		Mato	-2.905	-3.599		1000-2000	2.036	0.431
	SE	-2.800	-2.090		Olival	-1.724	-1.498		2000-4000	2.075	1.170
	S	-2.245	-2.308		Olival + Mato	-3.000	-3.600		>4000	-3.300	-1.800
	SW	-2.800	-2.400		Outros	-3.000	-3.600	Humidade	Baixo Teor de Humidade	-0.400	-0.400
	W	-2.800	-2.400		Taludes e Mortórios	-0.691	-0.685		Parcialmente molhado	-0.329	-0.197
	NW	-1.384	-2.400		Vinha	0.790	0.774		Limiar saturado	0.175	0.064
									zona de saturação	0.983	0.810

Através da análise do quadro acima, verifica-se que, na variável “inclinação do talude” a classe superior a 68° em ambos os modelos A e B é que mais influência tem, em todo o modelo, na ocorrência de movimentos de vertente.

Quanto ao método da Regressão Logística, os coeficientes de regressão quantificam o ‘impacto’ de cada variável independente na variável dependente indicando o valor positivo ou negativo o sentido desse impacto. As colunas referentes ao Exp (B) (Quadro 2) dizem respeito aos valores do coeficiente numa métrica estandardizada, em que os valores superiores a 1 indicam o risco dessa variável influenciar positivamente o modelo, enquanto os valores inferiores a 1 indicam o risco inverso.

Quadro 2 – Coeficientes estandardizados (Exp (B)) resultantes da Regressão Logística que demonstra a influência de cada classe no resultado final.

Variáveis	RegLog_A	RegLog_B
Declives	1.577	1.453
Exposição	0.72	0.691
Curvatura	0.720	0.88
Áreas Contributivas	1.099	1.174
Humidade	1.470	0.973
Inclinação do Talude	1.907	2.028
Uso do solo	1.344	1.219
Exp(B)		

Observando os valores apresentados no quadro, verifica-se que, assim como no Valor Informativo, é a variável “inclinação do talude” que exerce maior influência em ambos os MDT’s (A e B), sendo que é mais elevada no MDT B.

A validação dos resultados passou pela comparação dos rácios resultantes da tabela de contingência, metodologia apresentada por Fawcett (2006). Este autor apresenta quatro métricas considerando que para aquilo que estamos a validar existem quatro possíveis resultados: TP (true Positive), FP (false positive), TN (true negative) e FN (false negative).

Através destas métricas e da construção de uma tabela de contingência avaliando duas-por-duas, obtemos rácios de classificação, nomeadamente o TPR (true positive rate), FPR (false positive rate), PREC (precision) e ACC (accuracy).



Com base na validação realizada da comparação entre os rácios, o TPR é considerado como um dos mais importantes e para os resultados obtidos, apresenta valores elevados. Para o VI\_A o TPR apresenta um valor de 71% e para o VI\_B 78% que são valores considerados aceitáveis. Ainda dentro desta métrica, os restantes resultados apresentam valores superiores a 75% sendo os mais elevados na RegLog.

No entanto é preciso considerar que o rácio TPR apenas relaciona as ocorrências com a área considerada suscetível. Para colmatar isto e de forma a utilizar todas as hipóteses, é feita uma relação entre esta e a métrica FPR que considera as ocorrências nos locais classificados como não suscetíveis. Assim, os valores mais elevados são representados pelo Valor Informativo quando a modelação é feita com o MDE A. Embora com valores inferiores de TPR/FPR, a RegLog\_A – apresenta resultados favoráveis para o TPR embora na relação TPR/FPR apresente valores inferiores ao VI (Quadro3).

Quadro 3 – Coeficientes de Validação da tabela de Contingência (Fawcete, 2006)

	TPR	FPR	PREC	ACC	TPR/FPR
<b>Valor Informativo</b>					
VI_A	0.71	0.14	0.00028	0.86	5.23
VI_B	0.78	0.17	0.00025	0.83	4.73
<b>Regressão Logística</b>					
RegLog_A	0.82	0.19	0.00023	0.81	4.40
RegLog_B	0.81	0.18	0.00025	0.82	4.58

#### 4. Conclusão

Antes de mais, admite-se que a melhoria nos procedimentos de construção do MDT, a partir do MDS, poderá contribuir para melhores resultados da modelação da suscetibilidade a movimentos de vertente.

Relativamente ao TPR, os valores mais elevados verificam-se na Regressão Logística que corresponde às classes de suscetibilidade mais elevada (RegLog – A 82% e RegLog B 81%). Por outro lado, com o método do Valor Informativo estes valores são mais reduzidos (VI – A 71% e VI – B 72%).

No entanto, para o índice TPR/FPR concluímos que o método do Valor Informativo consegue estabelecer uma melhor relação entre áreas classificadas como instáveis e o número de deslizamentos preditos, ou seja, consegue discriminar melhor as áreas classificadas como instáveis.

Com isto podemos considerar que o método do Valor Informativo consegue prever melhor a ocorrência de um número elevado de deslizamentos numa área classificada como instável de menor dimensão. Porém, a Regressão Logística tem uma maior capacidade preditiva relativamente a maior número de deslizamentos.

No que diz respeito à influência das variáveis independentes no modelo, verifica-se em ambos os métodos estatísticos que a variável “inclinação do talude” é a que exerce maior influência.

#### REFERÊNCIAS

Aguiar, F. (2002). O Alto Douro Vinhateiro, uma paisagem cultural, evolutiva e viva. *DOURO - Estudos & Documentos*, 13: 143 - 152.

- Aleotti, P.; Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58: 21-44.
- Costa, A. (2009). *A aplicabilidade dos SIG e das Imagens de Satélite na Identificação de Áreas com Potencial Arqueológico : Estações Arqueológicas da Idade do Ferro*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto.
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27: 861-874.
- Guzzetti, F. (2005). *Landslide an Hazard Risk Assessment - Concepts, Methods and tools For the Detection and Mapping of Landslides, for Landslide Susceptibility Zonation and Hazard Assessment, and fot Risk Evaluation*. Tese de Douturamento, Universidade de Bonn, Itália.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31: 181-216.
- Nery, T. (2011). *Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos Translacionais Rasos na Bacia da Ultrafértil, Serra do Mar (SP)*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Oliveira, A. (2014). *Avaliação da suscetibilidade a movimentos de vertente no vale do Douro (Quinta das Carvalhas). Influência dos MDE's na modelação matemática de base física e estatística*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto.
- Zêzere, J. (1997). *Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*. Tese de Douturamento, Universidade de Lisboa, Lisboa.

